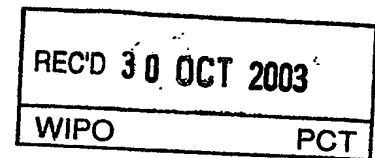


**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 41 959.0

**Anmeldetag:**

10. September 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Siemens Aktiengesellschaft,  
München/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zur Signalübertragung in einem Funk-  
Kommunikationssystem

**IPC:**

H 04 B 7/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 02. Oktober 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Ebert

## Beschreibung

Verfahren zur Signalübertragung in einem Funk-Kommunikationssystem

5 Beschrieben werden Verfahren zur Signalverarbeitung und zur Signalisierung bei der Datenübertragung in einem so genannten Multi-Hop (MH) und Single Frequency Network (SFN) Kommunikationssystem.

### 10 1. Systembeschreibung

Betrachtet wird ein Funk-Kommunikationssystem bestehend aus einem Sender einem Empfänger und keine, eine oder mehreren Zwischenstationen.

15 In diesem System werden die Datensignale entweder direkt vom Sender zum Empfänger oder über eine oder mehrere Zwischenstationen übertragen. Dabei kann eine Zwischenstation (EP - Extension Point) die vom Sender (AP - Access Point) gesendeten  
20 Signale direkt an den Empfänger (MT - Mobile Terminal) oder indirekt über weitere Zwischenstationen an den Empfänger weiterleiten (Multi-Hop). Zudem können mehrere Zwischenstationen gleichzeitig dasselbe Signal und somit dieselben Daten empfangen und gemeinsam, d.h. gleichzeitig und auf der gleichen  
25 Frequenz, mit Hilfe eines SFN direkt an den Empfänger oder an weitere Zwischenstationen senden.

Dieses System wird im folgenden als Multi-Hop SFN (MHSFN) System bezeichnet. In der FIG 1 ist beispielhaft ein MHSFN  
30 System mit zwei Hops und zwei Zwischenstationen (EP) dargestellt.

### 1.1 Signalverarbeitung und Signalisierung in Multi-Hop SFN Systemen

- In den betrachteten MHSFN System können in den Zwischenstationen Signalverarbeitungsverfahren, wie z.B. Vorverzerrungs- oder Entzerrungsprozeduren, eingesetzt werden. Um die Leistung dieser Prozeduren zu steigern, können durch eine Signalisierung Kenngrößen zwischen den Terminals (AP und/oder MT) und den Zwischenstationen (EP) ausgetauscht werden. Dabei ist grundsätzlich zwischen drei Signalverarbeitungs- bzw. Signalisierungskonzepte unterscheidbar.
- 10 Ein weitgehend optimaler Ansatz der Signalverarbeitung basiert auf der Kenntnis aller Empfangssymbole und der Kanaleigenschaften. Dieses im folgenden als MIMO (Multiple Input Multiple Output) Forwarding beschriebene Konzept ist jedoch mit einem sehr hohen Signalisierungsaufwand verbunden.
- 15 Der zweite Ansatz der Signalverarbeitung basiert auf lediglich der Kenntnis der Kanaleigenschaften. Von den Empfangssymbolen werden lediglich statistische Kenngrößen als bekannt vorausgesetzt. Bei diesem Ansatz muss die Signalisierung Informationen über den Kanalzustand austauschen. Eine Aktualisierung dieser Informationen ist nur bei signifikanter Änderung der Kanaleigenschaften notwendig. Dies führt deutlich zu einem reduzierten Signalisierungsaufwand. Dieser Ansatz wird im folgenden mit Adapted SFN Forwarding bezeichnet.
- 20
- 25 Der dritte Ansatz ist signalisierungsfrei. Die Signalverarbeitung basiert ausschließlich auf die in dem jeweiligen Terminal bzw. der jeweiligen Zwischenstation vorhandenen Informationen oder Kenngrößen des MHSFN System, wie z.B. auf die Kanaldämpfung und das Kanalrauschen. Zusätzliche Informationen anderer oder aller anderen Zwischenstation sind nicht bekannt. Dieser Ansatz wird im folgenden mit Blind SFN Forwarding bezeichnet.
- 30

Durch eine gezielte Signalverarbeitung bzw. durch spezielle Vorverzerrungs- und/oder Entzerrungsprozeduren in den Zwischenstationen kann beispielsweise eine konstruktive Überlagerung (Superposition) der Signale am Empfänger erreicht werden. Um eine derartige phasenrichtige Überlagerung der Signale am Empfänger zu ermöglichen, müssen bei der Signalverarbeitung genaue Kenntnisse über den erwarteten Übertragungskanal vorliegen und berücksichtigt werden. Hierbei kann gegebenenfalls auf die reziproke Eigenschaft des Funkkanals zurückgegriffen werden. Sie ermöglicht Rückschlüsse auf das Verhalten des Funkkanals anhand von empfangenen Signalen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich der analoge Übertragungskanal aus dem Funkkanal und dem analogen Sende- bzw. Empfangs- Fond End zusammensetzt. Während die Reziprozität des Funkkanals in hinreichendem Maße gegeben ist, kann sich das Übertragungsverhalten des Sende- vom Empfangs- Fond End insbesondere im Phasengang stark unterscheiden. Damit kann nur unter Berücksichtigung dieses Unterschiedes eine phasenrichtige Prediktion des Übertragungskanals durchgeführt werden.

Im folgenden werden zwei Typen von Terminals unterschieden

- Terminals, die über eine phasenrichtige Prediktion des Übertragungskanals verfügen, und
- Terminals, die nicht über eine phasenrichtige Prediktion des Übertragungskanals verfügen.

In der FIG 2 ist eine Übersicht über die verschiedenen Realisierungsmöglichkeiten der MHSFN Systeme gegeben. Neben den vorangehend genannten Ansätzen sind auch Kombinationen dieser Realisierungen möglich.

Abhängig vom Typ der verwendeten Terminals und der Signalisierungsstrategie werden sich unterschiedliche Signalverarbeitungsalgorithmen als optimal erweisen. Im folgenden werden

verschiedene Techniken der Signalverarbeitung, Vorverzerrungs- und/oder Entzerrungsprozeduren, vorgestellt und analysiert.

## 5 2. Beispiele

Um die oben beschriebene Systemidee zu verdeutlichen sind im folgenden beispielhafte Systemrealisierungen aufgeführt.

### 10 2.1 Zusätzliche Randbedingungen

Basis für die folgenden beispielhaften Untersuchungen ist ein OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) Übertragungssystem. Die Name der OFDM Übertragungstechnik ist auf die  
15 Verwendung von orthogonalen Subträgern zurückzuführen.

Eine zusätzliche Randbedingung in den folgenden Untersuchungen liegt in einer Sendeleistungsbegrenzung jedes einzelnen Subträgers durch eine Spektrumsmaske.

20 Diese Randbedingungen ermöglicht eine separate und unabhängige Untersuchung eines einzelnen Subträgers. Die Übertragungsperformance jedes Subträgers kann somit unabhängig von den anderen Subträgern des OFDM Systems analysiert und optimiert werden.  
25

### 2.2 Two Hop SFN

30 In der FIG 3 ist ein so genanntes Two Hop SFN System mit Zwischenstationen (EP) dargestellt.

Die nachfolgend vorgestellten Verfahren nehmen eine Optimierung der Übertragungsperformance vor. Dazu wird beispielhaft der Signal zu Rauschabstand jedes Subträgers am Empfänger  
35  $\text{SNR}_{\text{SFN}}$  maximiert. Anschließend werden Signalisierungsproto-

kolle vorgeschlagen, die diese optimale Weiterleitung unterstützen.

Um diese Optimierung analytisch beschreiben zu können ist es notwendig, eine Nomenklatur für die Beschreibung der Übertragungskanäle festzulegen. In der FIG 4 sind die verwendeten Bezeichnungen dargestellt. Es beschreibt die Übertragungsfaktoren und die Rauschterme für einen Subträger.

10 Mit  $H_{1k}$  ist der Übertragungsfaktor vom Sender zu der Zwischenstation (EP) Nummer  $k$  bezeichnet. Das Signal  $n_{1k}$  beschreibt das Rauschen an der Zwischenstation (EP) Nummer  $k$ . Die Anzahl der Zwischenstationen ist mit  $K$  bezeichnet, so dass der Index  $k$  von 0 bis  $K-1$  läuft. Die Rauschleistung wird  
15 mit  $\sigma_{1k}^2$  bezeichnet. Der Index 1 weist auf den ersten Hop des Two Hop Systems hin. Equivalent dazu ist mit  $H_{2k}$  ist der Übertragungsfaktor von der Zwischenstation (EP) Nummer  $k$  zum Empfänger bezeichnet. Das Signal  $n_2$  beschreibt das Rauschen am Empfänger. Die Rauschleistung wird mit  $\sigma_2^2$  bezeichnet. Der  
20 Index 2 weist auf den zweiten Hop des Two Hop Systems hin. Die komplexen Faktoren  $A_k$  beschreiben die Gewichtung in der Zwischenstation (EP) Nummer  $k$ .

Aus dieser Nomenklatur und der Sendeleistungsbegrenzung auf 1  
25 folgen für die komplexen Faktoren  $A_k$  folgende Grenzen  $0 \leq |A_k|^2 \leq 1/(|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2)$ .

### 2.2.1 Ohne Kanal Phasen Kenntnis

30 Im folgenden wird von einem System mit Terminals ausgegangen, die keine Kenntnis der Kanalphasen des Sendekanals für die Weiterleitung verwenden.

Da die Phasen der  $H_{2k}$  in den Zwischenstationen nicht bekannt sind, kann nicht immer eine konstruktive Überlagerung der Signale am Empfänger erreicht werden. Die Empfangssignale überlagern sich mit zufälliger Phase, damit addieren sich im Mittel lediglich die Leistungen des Empfangssignale. Das Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger errechnet sich damit zu

$$SNR_{SFN} = \frac{\sum_{k=0}^{K-1} |H_{1k}|^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^{K-1} \sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2}$$

Die Zielfunktion ( $SNR_{SFN}$ ) ist nun unter Variation der  $|A_k|^2$  zu maximieren. Dabei ist zu beachten, dass die Parameter  $|A_k|^2$  begrenzt sind. Die Optimierung ist demnach nur in dem Gültigkeitsbereich durchzuführen, das durch die Begrenzung der  $|A_k|^2$  gegeben ist.

#### 2.2.1.1 Mit Kanalparameter- und Empfangswert-Signalisierung (MIMO Forwarding)

Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger ( $SNR_{SFN}$ ) kann bei einer Signalisierung unter Berücksichtigung aller Systemparameter durchgeführt werden.

#### 2.2.1.2 Mit Kanalparameter-Signalisierung (Adap. SFN Forwarding)

Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger ( $SNR_{SFN}$ ) kann bei einer Signalisierung unter Berücksichtigung aller Systemparameter durchgeführt werden.

Zur Maximierung ist eine Voruntersuchung des Verhaltens der Zielfunktion hilfreich. Dabei ist festzustellen, dass die „Höhenlinien“ der Zielfunktion „Geraden“ der Dimension  $K-1$  oder besser gesagt Hyperebenen der Dimension  $K-1$  im  $R^K$  sind.

Das heißt, keine „Höhenlinie“ hat eine Punkt-Charakteristik. Damit kann die Funktion innerhalb des Gültigkeitsbereiches kein globales Maximum oder Minimum haben. Die Funktion wird auf dem Rand des Gültigkeitsbereiches maximal.

5

Da der Gültigkeitsbereich durch Hyperebenen im  $R^k$  begrenzt ist, ist das Maximum der Zielfunktion in einer Ecke (Vertex) des Gültigkeitsbereiches zu finden. In bestimmten Fällen kann die Höhenlinien-Hyperebene, die zu dem maximalen  $SNR_{SFN}$  gehört, auf einer begrenzenden Hyperebene liegen. Da jeder Punkt und damit auch jede Ecke den gleichen Wert auf einer Höhenlinie hat, kann in diesem Fall eine beliebige Ecke ausgewählt werden.

10

15 In der FIG 5 ist ein Beispiel für eine Zielfunktion, das  $SNR_{SFN}$ , für zwei Zwischenstationen (EP) in Abhängigkeit von den Parametern  $|A_k|^2$  dargestellt. Die Kanalübertragungsfaktoren wurden in diesem Beispiel zufällig gewählt. Man kann gut erkennen, dass die Höhenlinien Geraden sind, und dass die  
20 Zielfunktion in einer Ecke des Gültigkeitsbereiches maximal wird.

Diese Analyse zeigt, dass das optimale  $SNR_{SFN}$  immer in einer Ecke des Gültigkeitsbereiches erreicht wird. Eine Ecke beschreibt einen Parametersatz  $|A_k|^2$ , bei dem einige Zwischenstationen (EP) mit maximaler Leistung senden ( $|A_k|^2 = 1/(|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2)$ ) und die anderen Zwischenstationen keine Weiterleitung durchführen ( $|A_k|^2 = 0$ ). Keine Zwischenstation sendet mit einer Leistung zwischen Null und dem Maximalwert  
30 ( $0 < |A_k|^2 < 1/(|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2)$ ). Die Maximierung des  $SNR_{SFN}$  wird durch eine geeignete Auswahl (Selektion) der EP's, die mit maximaler Leistung senden, erreicht.

Diese Selektion der aktiven Zwischenstationen kann zum Beispiel mit Hilfe eines Auswahlkriteriums erreicht werden. Sind  
35



L+1 Zwischenstationen ausgewählt und senden mit maximaler Leistung, so kann eine Vorschrift definieren werden, die beschreibt, ob eine Zwischenstation abzuschalten ist, um das  $SNR_{SFN}$  zu erhöhen. Die Zwischenstation Nummer L soll genau dann abgeschaltet werden, wenn sich dadurch das  $SNR_{SFN}$  erhöht oder unverändert bleibt. Beschreibt  $SNR_{SFN\ L}$  das Signal zu Rauschverhältnis wenn alle Zwischenstationen (Nummer 0 bis Nummer L) senden und  $SNR_{SFN\ L-1}$  das Signal zu Rauschverhältnis wenn nur noch die Zwischenstationen von Nummer 0 bis Nummer L-1 senden, kann man diese Bedingung wie folgt formulieren:

$$\begin{aligned}
 SNR_{SFN\ L} &\leq SNR_{SFN\ L-1} \\
 \Leftrightarrow \frac{\sum_{k=0}^L |H_{1k}|^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^L \sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2} &\leq \frac{\sum_{k=0}^{L-1} |H_{1k}|^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^{L-1} \sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2} \\
 \Leftrightarrow SNR_{SFN\ L} &\geq SNR_{1L} = \frac{|H_{1L}|^2}{\sigma_{1L}^2}
 \end{aligned}$$

Es zeigt sich, dass die Zwischenstation Nummer L in den Fällen abzuschalten ist, wenn sein Empfangs-Signal zu Rauschverhältnis ( $SNR_{1L}$ ) kleiner ist als das bisherige Signal zu Rauschverhältnis ( $SNR_{SFN\ L}$ ) am Empfänger.

Basierend auf diesem Kriterium kann folgender Algorithmus formuliert werden.

1. Ermittle das  $SNR_{SFN}$  für den Fall, dass alle K EP's mit voller Leistung weiterleiten.
2. Vergleiche das ermittelte  $SNR_{SFN}$  mit den EP-Empfangs-Signal zu Rauschverhältnissen  $SNR_{1k}$  und Deaktiviere alle EP mit  $SNR_{1k} \leq SNR_{SFN}$
3. Beende die Routine falls kein weiterer EP deaktiviert wurde.
4. Ermittle das resultierende  $SNR_{SFN}$  und gehe zu Punkt 2.

Da in jedem Durchlauf das  $\text{SNR}_{\text{SFN}}$  erhöht wird, bleiben die Entscheidungen vorheriger Durchläufe gültig, sie müssen nicht erneut überprüft oder korrigiert werden. Das zeigt das konvergente Verhalten des Algorithmuses, er errechnet nach mindestens K Durchläufen das optimale Ergebnis und bricht dann ab.

Ähnlich wie das beschriebene Deaktivierungskriterium kann auch ein Aktivierungskriterium definiert werden. Es lässt sich zeigen, dass eine neue Zwischenstation Nummer  $L+1$  in den Fällen aktiv wird, wenn sein Empfangs-Signal zu Rauschverhältnis ( $\text{SNR}_{L+1}$ ) größer ist als das bisherige Signal zu Rauschverhältnis ( $\text{SNR}_{\text{SFN } L}$ ) am Empfänger, das sich aus den bisher aktiven Zwischenstationen Nummer 0 bis L ergeben hat.

15

Diese Analysen können separat für jeden OFDM-Subträger durchgeführt werden. Um die vorangehende Nomenklatur auf Subträger zu erweitern, müssen lediglich die System- und Kanal-Parameter Subträgerweise beschrieben werden.

20

Aus diesen Kriterien kann folgendes Signalisierungskonzept abgeleitet werden:

1. Der Empfänger signalisiert periodisch sein Empfangs- $\text{SNR}_{\text{SFN}}(f)$  für jeden OFDM- Subträger  $f$  an alle Zwischenstationen EP,

2. Jede EP vergleicht Subträgerweise dieses  $\text{SNR}_{\text{SFN}}(f)$  mit seinem Empfangs- $\text{SNR}_{1k}(f)$

a. ist  $\text{SNR}_{1k}(f) \leq \text{SNR}_{\text{SFN}}(f)$ , so sendet die EP Nummer  $k$  kein Signal auf dem Subträger  $f$ ,

b. ansonsten sendet die EP Nummer  $k$  mit maximaler Leistung  $|A_k(f)|^2 \leq 1/(|H_{1k}(f)|^2 + \sigma_{1k}^2(f))$  auf diesem Subträger  $f$ .

30

### 2.2.1.3 Ohne Signalisierung (Blind SFN Forwarding)

Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger  
 5 (SNR<sub>SFN</sub>) kann ohne eine Signalisierung nur unter Berücksichtigung der lokal bekannten Systemparameter durchgeführt werden.

### 2.2.2 Mit Kenntnis der Phase des Kanals

10 Da die Phasen der  $H_{2k}$  in den Zwischenstationen nicht bekannt sind, kann nicht immer eine konstruktive Überlagerung der Signale am Empfänger erreicht werden. Die Empfangssignale überlagern sich mit zufälliger Phase, damit addieren sich im Mittel lediglich die Leistungen des Empfangssignale. Das Sig-  
 15 nal zu Rauschverhältnis am Empfänger errechnet sich damit zu

$$SNR_{SFN} = \frac{\left( \sum_{k=0}^{K-1} |H_{1k}| |H_{2k}| |A_k| \right)^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^{K-1} \sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2}$$

Diese Zielfunktion (SNR<sub>SFN</sub>) ist nun unter Variation der  $|A_k|^2$   
 20 zu maximieren. Dabei ist zu beachten, dass die Parameter  $|A_k|^2$  begrenzt sind. Die Optimierung ist demnach nur in dem Gültigkeitsbereich durchzuführen, das durch die Begrenzung der  $|A_k|^2$  gegeben ist.

### 25 2.2.2.1 Mit Kanalparameter- und Empfangswert-Signalisierung (MIMO Forwarding)

Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger  
 (SNR<sub>SFN</sub>) kann bei einer Signalisierung unter Berücksichtigung  
 30 aller Systemparameter durchgeführt werden.

#### 2.2.2.2 Mit Kanalparameter-Signalisierung (Adap. SFN Forwarding)

Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger  
5 (SNR<sub>SFN</sub>) kann bei dieser Signalisierung unter Berücksichtigung der Kanalparameter durchgeführt werden.

Zur Maximierung ist erneut eine Voruntersuchung des Verhaltens der Zielfunktion hilfreich. Dabei ist festzustellen,  
10 dass die Höhenlinien der Zielfunktion Hyperbeln der Dimension  $K-1$  bzw. Hyperboloids der Dimension  $K-1$  im  $R^K$  sind. Das heißt, keine Höhenlinie hat eine Punkt-Charakteristik. Damit kann die Funktion innerhalb des Gültigkeitsbereiches kein globales Maximum oder Minimum haben. Die Funktion wird auf  
15 dem Rand des Gültigkeitsbereiches maximal. Mit der Hauptachsentheorie kann man zeigen, dass alle Hyperbeln die selben Hauptachsen haben.

In der FIG 6 ist ein Beispiel für eine Zielfunktion, das  
20 SNR<sub>SFN</sub>, für zwei EP's in Abhängigkeit von den Parametern  $|A_k|^2$  dargestellt. Die Kanalübertragungsfaktoren wurden in diesem Beispiel zufällig gewählt. Man kann gut erkennen, dass die Höhenlinien Hyperbeln sind, und dass die Zielfunktion auf dem Rand des Gültigkeitsbereiches maximal wird. Im rechten Bild ist neben zu den Höhenlinien der Gültigkeitsbereich und die gemeinsame Hauptachse der Hyperbeln dargestellt.

Die Analyse zeigt, dass die Zielfunktion SNR<sub>SFN</sub> auf dem Rand des Gültigkeitsgebietes maximal wird. Die Ränder des Gültigkeitsgebietes sind durch Hyperebenen definiert. Im ersten  
30 Schritt wird die begrenzende Hyperebene gesucht auf der das Optimum zu finden ist. Wie in der FIG 6 deutlich wird, ist es die Hyperebene, die von der Hauptachse als „erstes“ geschnitten wird, d.h. der Schnittpunkt zwischen Hauptachse und Hyperebene liegt am dichtesten am Koordinatenursprung. Wie mit  
35

12

Hilfe der Hauptachsentheorie gezeigt werden kann, liegt ein Parametersatz mit  $|A_k| = \lambda \sigma_2 |H_{1k}| / (\sigma_{1k}^2 |H_{2k}|)$  auf der Hauptachse, der Skalar  $\lambda$  beschreibt die Länge des Vektors, er kann beliebig gewählt werden. Nun wird ein  $\lambda_k$  so gewählt, dass der Wichtungsfaktor  $|A_k|$  maximal wird. Es folgt

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{SNR_{2k}}{SNR_{1k}} \cdot \frac{1}{SNR_{1k} + 1}}$$

Die Hyperebene die als erstes von der Hauptachse geschnitten wird ist, durch den kürzesten Vektor und damit durch den kleinsten Wert  $\lambda_k$  gekennzeichnet  $\min_k(\lambda_k)$ .

Es wird im folgenden als sinnvoll erachtet, die Nummerierung der Zwischenstationen EP umzusortieren. Die neue Sortierung wird entsprechend der Größe des Wertes  $\lambda_k$  gewählt, so dass der EP mit der Nummer  $k=0$  den kleinsten Wert  $\lambda_k$  aufweist, und sich die Reihenfolge  $\lambda_k \leq \lambda_{k+1}$  ergibt.

Durch diese Sortierung folgt  $\lambda_0 = \min_k(\lambda_k)$ . Damit ist die Hyperebene, auf der das Maximum liegt, durch  $|A_0|^2 = 1 / (|H_{10}|^2 + \sigma_{10}^2)$  definiert. Die Zwischenstation mit dem kleinsten Wert  $\lambda_k$  muss mit maximaler Sendeleistung senden, um das  $SNR_{SFN}$  zu maximieren. Sollten mehrere Zwischenstationen, z.B.  $N$ , den gleichen minimalen Wert  $\lambda_0 = \lambda_k$  für  $k < N$  haben, so senden alle  $N$  Zwischenstationen mit maximaler Leistung.

$$|A_k| = \frac{1}{\sqrt{|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2}} = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{1k}^2 (SNR_{1k} + 1)}} \quad \text{für } 0 \leq k < N$$

Durch diese Weiterleitung der N Zwischenstationen mit maximaler Sendeleistung ergibt sich am Empfänger ein Signal zu Rauschabstand von

$$5 \quad SNR_N = \frac{\left( \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{\frac{|H_{1k}|^2 |H_{2k}|^2}{|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2}} \right)^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2}{|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2}} = \frac{\left( \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{\frac{SNR_{1k} SNR_{2k}}{SNR_{1k} + 1}} \right)^2}{1 + \sum_{k=0}^{N-1} \frac{SNR_{2k}}{SNR_{1k} + 1}} = \frac{\left( \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k SNR_{1k} \right)^2}{1 + \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k^2 SNR_{1k}}$$

10 Durch diese Fixierung der Sendeleistung der N Zwischenstationen wird eine Kante des Gültigkeitsgebietes, eine Hyperebene der Dimension K-N, definiert. Im folgenden Schritt ist auf dieser Hyperebene das Maximum der Zielfunktion zu suchen. Dabei ist festzustellen, dass die Höhenlinien der Zielfunktion auf dieser Hyperebene in allgemeinen Ellipsoiden sind und genau eine Höhenlinie zu einem Punkt entarten. Die Hauptachsentheorie zeigt, dass dieser Punkt durch den folgenden Parametersatz definiert ist

$$|A_k| = \frac{\sigma_2 |H_{1k}|}{\sigma_{1k}^2 |H_{2k}|} \cdot \Lambda_N = \sqrt{\frac{SNR_{1k}}{\sigma_{1k}^2 SNR_{2k}}} \cdot \Lambda_N \quad \text{für } N \leq k < K$$

$$\Lambda_N = \frac{1 + \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k^2 SNR_{1k}}{\sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k SNR_{1k}}$$

20

Im letzten Schritt bleibt zu prüfen, ob das Ergebnis im Gültigkeitsgebiet liegt. Durch die vorgenommene Sortierung ist dazu lediglich das errechnete  $|A_k|^2$  für  $k=N$  mit der zulässigen Maximalleistung zu vergleichen. Ähnlich wie oben kann gezeigt werden, dass auch diese Zwischenstation mit der Nummer  $k=N$  mit maximaler Leistung senden muss, um das Optimum zu erreichen, falls durch die errechnete Lösung die Maximalleistung überschritten wird. Die Maximalleistung wird überschrit-

25

ten, falls  $\lambda_k < \Lambda_N$  ist. Auf der damit neudefinierten Hyper-  
ebene der Dimension  $K-N-1$  ist wie vorangehend beschrieben  
fortzufahren.

- 5 Senden die Zwischenstationen entsprechend dem Ergebnis dieser  
Rechnung, erhält man das maximale  $SNR_{SFN}$  am Empfänger. Dabei  
hat das maximale  $SNR_{SFN}$  folgenden Betrag:

$$SNR_{SFN} = SNR_N + \sum_{k=N}^{K-1} SNR_{1k}$$

10

Basierend auf dieser Ableitung kann folgender Algorithmus  
formuliert werden:

1. Berechne

15  $\lambda_k = \sqrt{\frac{SNR_{2k}}{SNR_{1k}} \cdot \frac{1}{SNR_{1k} + 1}}$  für alle  $0 \leq k < K$

und sortiere die Indizes  $k$  entsprechend Reihenfolge  $\lambda_k \leq \lambda_{k+1}$   
um

2. Setze  $N = 1$

3. Berechne

20 
$$\Lambda_N = \frac{1 + \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k^2 SNR_{1k}}{\sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k SNR_{1k}}$$

4. Falls  $\lambda_{k=N} \leq \Lambda_N$ , setze  $N=N+1$  und gehe zu Schritt 3.

5. Berechne die Faktoren

$$|A_k| = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{1k}^2 (SNR_{1k} + 1)}} \quad \text{für } 0 \leq k < N$$

$$|A_k| = \sqrt{\frac{SNR_{1k}}{\sigma_{1k}^2 SNR_{2k}}} \cdot \Lambda_N \quad \text{für } N \leq k < K$$

25

Die Iteration bricht spätestens ab, wenn alle Zwischenstatio-  
nen EP ausgewählt wurden.

Während der Iteration weist der Wert  $\Lambda_N$  ein Verhalten auf,  
 das es erlaubt, den Vergleich für jede Zwischenstation EP  
 einzeln durchzuführen. Es muss dabei nicht darauf geachtet  
 5 werden, ob mehrere Zwischenstationen EP gleiche  $\lambda_k$  aufweisen.

Darüber hinaus ist festzustellen, dass für eine ausgewählte  
 Zwischenstation EP  $k \leq N$  auch nach Abschluß der Iteration  $\lambda_k \leq$   
 $\Lambda_N$  gilt. Aus dieser Eigenschaft und dem obigen Algorithmus  
 10 kann folgendes Signalisierungskonzept abgeleitet werden:

1. Alle Zwischenstationen EP übermitteln periodisch das  
 $SNR_{1k}$  an den Empfänger,
2. Bei diesen Punkt zu Punkt Verbindungen ermittelt der  
 15 Empfänger die  $SNR_{2k}$  durch entsprechende Messungen,
3. Im Empfänger wird über den oben beschriebenen Algorith-  
 mus das endgültige  $\Lambda_N$  berechnet,
4. Der Empfänger sendet periodisch das errechnete  $\Lambda_N$  an  
 alle Zwischenstationen EP,
- 20 5. Bei diesem Broadcast ermittelt jede Zwischenstation EP  
 individuell das  $SNR_{2k}$  durch entsprechende Messungen,
6. Jede Zwischenstation EP errechnet individuell

a. den Wert  $|A_k| = \sqrt{\frac{SNR_{1k}}{\sigma_{1k}^2 SNR_{2k}}} \cdot \Lambda_N$

- 25 b. sollte das Ergebnis seine maximale Sendeleistung  
 überschreiten, wird es auf diesen Maximalwert  
 begrenzt.

$$|A_k| = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{1k}^2 (SNR_{1k} + 1)}}$$

und in Zukunft  $SNR_{1k}$  an den Empfänger gesendet,  
 ansonsten braucht das  $SNR_{1k}$  nicht an den Empfänger  
 30 übermittelt werden.



7. Die Zwischenstationen beginnen mit der Weiterleitung der Daten von dem Sender,

8. Sollte eine neue Zwischenstation EP hinzukommen

a. errechnet sie ebenfalls individuell den Wert

$$|A_k| = \sqrt{\frac{SNR_{1k}}{\sigma_{1k}^2 SNR_{2k}}} \cdot \Lambda_N$$

b. sollte das Ergebnis ihre maximale Sendeleistung überschreiten, wird es auf diesen Maximalwert begrenzt.

$$|A_k| = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{1k}^2 (SNR_{1k} + 1)}}$$

und in Zukunft  $SNR_{1k}$  an den Empfänger gesendet, ansonsten braucht das  $SNR_{1k}$  nicht an den Empfänger übermittelt werden.

### 2.2.2.3 Ohne Signalisierung (Blind SFN Forwarding)

Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger ( $SNR_{SFN}$ ) kann ohne eine Signalisierung nur unter Berücksichtigung der lokal bekannten Systemparameter durchgeführt werden.

## 2.3 Three Hop SFN

In der FIG 7 ist ein so genanntes Three Hop SFN System mit Zwischenstationen EP dargestellt.

### 2.3.1 Mit Kanal Phasen Kenntnis

#### 2.3.1.1 Mit Kanalparameter- und Empfangswert-Signalisierung (MIMO Forwarding)

Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger ( $SNR_{SFN}$ ) kann bei einer Signalisierung unter Berücksichtigung aller Systemparameter durchgeführt werden.

### 2.3.1.2 Mit Kanalparameter Signalisierung (Adaptive SFN Forwarding)

- 5 Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger ( $\text{SNR}_{\text{SFN}}$ ) kann bei einer Signalisierung unter Berücksichtigung aller Systemparameter durchgeführt werden.

### 2.3.1.3 Ohne Signalisierung (Blind SFN Forwarding)

- 10 Die Optimierung des Signal zu Rauschverhältnis am Empfänger ( $\text{SNR}_{\text{SFN}}$ ) kann ohne eine Signalisierung nur unter Berücksichtigung der lokal bekannten Systemparameter durchgeführt werden.

- 15 Bei der Erfindung kooperieren mehrere einzelne MTs und/oder Zwischenstationen EP und bilden eine verteilte, so genannte intelligente Antenne (Smart Antenna). Die einzelnen Antennenelemente sind dabei die typischerweise omni-direktionalen Antennen der MTs/EPs. Werden im Adhoc-Netz mehrere Cluster von MT-Antennen zu verteilten Antennen zusammengefasst, können
- 20 über diese verteilten Antennencluster MIMO-Kanäle gebildet werden. MIMO Kanäle, z.B. entsprechend dem BLAST Prinzip, erlauben eine sehr hohe spektrale Effizienz in Bit/s/Hz. Damit ist es möglich, in Adhoc-Netzen eine Hierarchie einzuführen. Über große Entfernungen werden die leistungsfähigen MIMO Kanäle verwendet, während kürzere Reichweiten mit Standard Multihop Übertragung überbrückt werden. Damit sind skalierbare Adhoc Netze auch für den Fall möglich, dass der Verkehr nicht lokal begrenzt bleibt. MIMO-Antennen erfordern je nach Algorithmus eine Kopplung der Antennenelemente. Dies führt unter
- 30 Umständen zu einem zusätzlichen Protokoll-Overhead. Das verteilte Konzept hat jedoch den Vorteil, dass die MTs ohne aufwendige und große Antennen mit zugehörigen HF-Frontends auskommen und dennoch eine sehr hohe spektrale Effizienz für die verteilten MIMO Antennen möglich wird. MIMO Ansätze erfordern
- 35 typischerweise, dass die Funkkanäle zwischen den einzelnen

Antennenelementen unkorreliert sind. Je nach Umgebung müssen die Antennenelemente daher einen Abstand von typischerweise mehreren Wellenlängen der HF-Frequenz haben. Für verteilte Antennen ist diese Anforderung besonders leicht zu erfüllen.

5 Prinzipiell können mit verteilten Antennen alle bekannten Smart Antenne Konzepte realisiert werden, wie z.B. auch SDMA (Space Division Multiple Access) oder steuerbare Antennen mit Interferenzreduktion. Die vorangehende Beschreibung erläutert eine weitere mögliche Kooperation zwischen mehreren MTs in  
10 einem so genannten SFN (Single Frequency Network). SFNs sind ein spezielles Multihop Verfahren, bei dem mehrere EPs gleichzeitig Daten an ein weit entferntes RMT (Remote Mobile Terminal) übertragen. Wie gezeigt ist durch Informationsaus-  
tausch zwischen den EPs und geeignet gewählte Wichtungsfakto-  
15 ren in den EPs ein gegenüber üblichen SFN-Netzen zusätzlicher Gewinn möglich. Dieser liegt in der Größenordnung klassischer Maximo Ratio Combining Verfahren. Generell haben die Verfah-  
ren der verteilten Antennen den Vorteil, dass die Leistungs-  
fähigkeit mit steigender Anzahl an MTs zunimmt, d.h. die Ver-  
20 fahren passen sich selbständig an das normalerweise erhöhte Datenaufkommen im Falle vieler MTs an.

FIG 8 zeigt das erfindungsgemäße Clustern von jeweils mehreren Zwischenstationen (MN - Mobile Nodes) sowohl auf der  
25 Sende- (transmit cluster) als auch auf der Empfangsseite (re-  
ceive cluster), um jeweils eine verteilte MIMO-Antenna für ein räumliches Multiplexen (Spatial Multiplexing) zu konfigurieren. Im Unterschied zu herkömmlichen MIMO-Antennen besteht keine verdrahtete Verbindung zwischen den einzelnen Antennen-  
30 elementen. Das räumliche Multiplexen kombiniert die Signale aller empfangenden Antennenelemente, um hieraus den resultierenden Datenstrom zu ermittelt. Dieses Konzept benötigt einen Austausch von Signalisierungsinformationen zwischen den ver-  
teilten Antennen, wie beispielsweise bezüglich jeweiliger Ka-  
35 nalschätzungen.

FIG 9 zeigt weiterhin eine beispielhafte Anwendung eines verteilten Antennenkonzeptes in einem Adhoc-Netzwerk. In diesem Fall werden die MIMO-Kanäle zum Aufbau einer Verbindung zwischen weit voneinander entfernten Einrichtungen des Adhoc-Netzwerkes verwendet. Geringe Entfernungen, die beispielsweise nur wenige Hops erfordern, werden mittels bekannter Multihop-Verbindungen überbrückt. Die Kreise in der FIG 9 geben jeweils beispielhaft ein Cluster von mehreren Zwischenstationen MHN (Multihop Node) an, die entsprechend einer intelligenten Antenne agieren.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Signalübertragung in einem Funk-Kommunikationssystem, bei dem
- 5 Signale einer sendenden ersten Funkstation (AP) über mehrere Zwischenstationen (EP) zu einer empfangenden zweiten Funkstation (MT) übertragen werden, wobei die Antenneneinrichtungen der Zwischenstationen (EP) entsprechend einer intelligenten Antenne konfiguriert werden.
- 10
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem eine Signalisierung zwischen den Zwischenstationen (EP) zur Konfiguration der Antenneneinrichtungen durchgeführt wird.
- 15
3. Funk-Kommunikationssystem, mit Mitteln zur Durchführung des Verfahren gemäß Anspruch 1.

## Zusammenfassung

Verfahren zur Signalübertragung in einem Funk-Kommunikations-system

- 5 Verfahren zur Signalübertragung in einem Funk-Kommunikations-system, bei dem Signale einer sendenden ersten Funkstation (AP) über mehrere Zwischenstationen (EP) zu einer empfangen-
- 10 den zweiten Funkstation (MT) übertragen werden, wobei die Antenneneinrichtungen der Zwischenstationen (EP) entsprechend einer intelligenten Antenne konfiguriert werden.

FIG 1

FIG 1

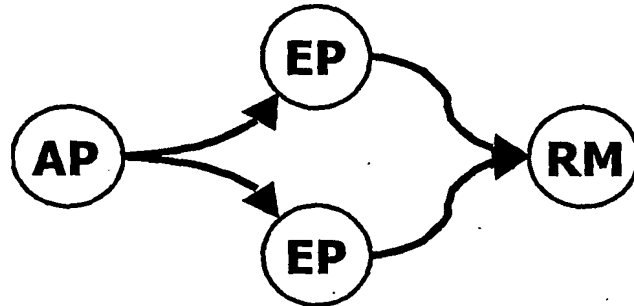


FIG 2

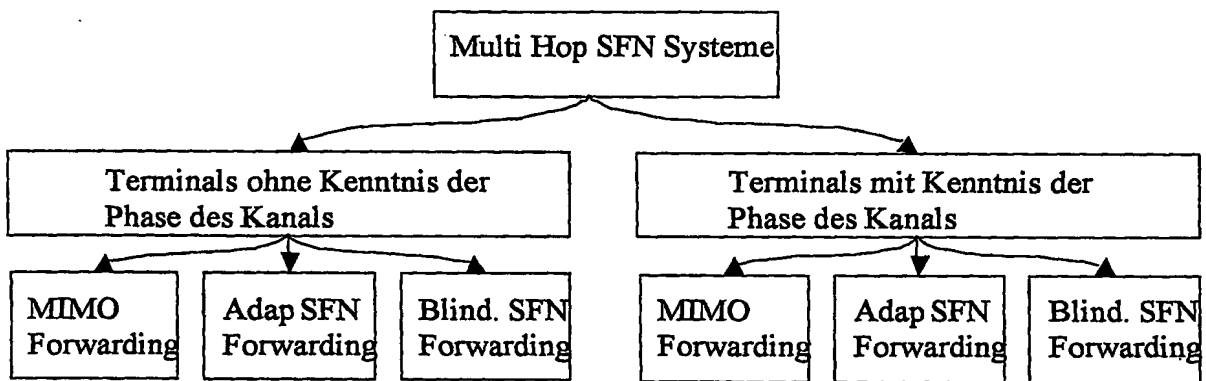
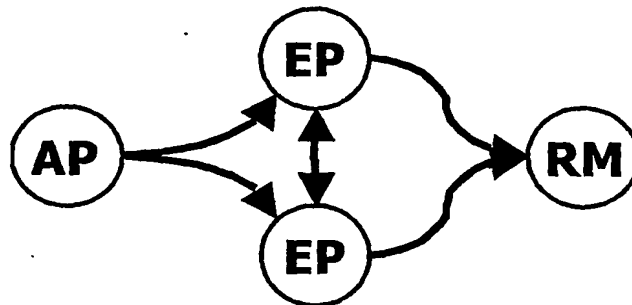


FIG 3



**10/527188**

06 Rec'd PCT/PTO 10 MAR 2005

**Federal Republic of Germany**

**Priority document concerning the filing  
of a patent application**

**Reference:** 102 41 959.0

**Date of filing:** 10 September 2002

**Applicant/owner:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 Munich/DE

**Title:** Method for transmitting signals in a radio communication system

**IPC:** H 04 B 7/00

**The attached documents are a correct and accurate reproduction of the  
original documents of this patent application.**

Munich, 18 February 2005

**German Patent and Trademark Office**

**The President**

By order

(signature)

Wehner



## Description

Method for transmitting signals in a radio communication system

- 5 Methods for signal processing and signaling with data transmission in a multihop (MH) and single frequency network (SFN) communication system are described.

### 1. System description

- 10 The description is of a radio communication system consisting of a transmitter, a receiver and one or more intermediate stations or no intermediate station.

In this system the data signals are either transmitted directly  
15 from the transmitter to the receiver or via one or more intermediate stations. In this process, an intermediate station (EP - Extension Point) can forward the signals sent from the transmitter (AP - Access Point) directly to the receiver (MT - Mobile Terminal) or indirectly via other intermediate stations  
20 to the receiver (multihop). Furthermore, several intermediate stations can receive the same signal and thus the same data simultaneously and send them jointly, i.e. simultaneously and at the same frequency, directly to the receiver or other intermediate stations with the aid of an SFN.

25

This system is referred to in the following as a multihop SFN (MHSFN) system. Fig. 1 shows an example of an MHSFN system with two hops and two intermediate stations (EP).

- 30 1.1 Signal processing and signaling in Multihop SFN systems

Signal processing methods, such as pre-equalization or equalization procedures, can be used in the intermediate stations in the MHSFN system under consideration. To increase  
35 the performance of these procedures, signaling can be used to exchange characteristic quantities between the terminals (AP

and/or MT) and the intermediate stations (EP). In this case, a distinction can basically be made between three signal processing or signaling concepts.

5 A largely optimum approach to signal processing is based on the knowledge of all received symbols and channel properties. This concept, referred to in the following as MIMO (Multiple Input Multiple Output) forwarding, is, however, associated with a very high signaling cost.

10

The second approach of signal processing is based merely on the knowledge of the channel properties. Only statistical characteristic quantities of the received symbols are required to be known. With this approach, the signaling must exchange  
15 information on the channel status. Updating of this information is necessary only if there is a significant change in the channel properties. This clearly leads to a reduction in the signaling costs. This approach is referred to in the following as adapted SFN forwarding.

20

The third approach is signaling-free. The signal processing is based exclusively on the information available in the particular terminal or intermediate station or on characteristic quantities of the MHSFN system, such as channel  
25 attenuation and channel noise. No additional information on further or all intermediate stations is known. This approach is referred to in the following as blind SFN forwarding.

By an appropriate signal processing or special pre-equalization  
30 and/or equalization procedures in the intermediate stations, it is possible, for example, to achieve a constructive superposition of the signals at the receiver. To enable this kind of in-phase superposition of the signals at the receiver, precise knowledge regarding the expected transmission channel  
35 must be present and taken into account during signal processing. Reciprocal properties of the radio channel can

sometimes be used in this case. This enables information on the behavior of the radio channel to be obtained on the basis of received signals. It must, however, be taken into account that the analog transmission channel is made up of the radio channel and the analog transmission or receiving front end. Whereas there is sufficient reciprocity of the radio channel, the transmission behavior of the transmission or reception front end can vary considerably, particularly with regard to the phase response. Therefore, an in-phase prediction of the transmission channel can only be made if this difference is taken into account.

A distinction is made between two types of terminals in the following:

- Terminals that have an in-phase prediction of the transmission channel and
- terminals that do not have an in-phase prediction of the transmission channel.

Fig. 2 is an overview of the different realization possibilities of MHSFN systems. Combinations of these realizations are also possible in addition to the aforementioned approaches.

Different signaling processing algorithms will prove to be optimal depending on the type of terminal and signaling strategy employed. Various techniques of signal processing, pre-equalization and/or equalization procedures are presented and analyzed in the following.

30

## 2. Examples

To explain the aforementioned system idea, examples of system realizations are presented in the following.

### 2.1 Additional boundary conditions

The basis for the following exemplary investigations is an OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) transmission system. The name of the OFDM transmission technology can be traced back to the use of orthogonal subcarriers.

5

An additional boundary condition in the following investigations is a transmission power limitation of each individual subcarrier by a spectrum mask.

10 These boundary conditions enable a separate and independent investigation of an individual subcarrier. The transmission performance of each subcarrier can thus be analyzed and optimized independently of the other subcarriers of the OFDM system.

15

#### 2.1 Two-hop SFN

Fig. 3 shows a two-hop SFN system with intermediate stations (EP).

20 The methods described in the following are used to optimize the transmission performance. For this purpose, the signal-to-noise ratio of each subcarrier is, for example, maximized at the receiver  $\text{SNR}_{\text{SFN}}$ . Signaling protocols are then proposed that support this optimum forwarding.

25

In order to describe this optimization analytically, it is necessary to specify a nomenclature for the description of the transmission channels. The designations used are shown in Fig. 4. This describes the transmission factors and noise terms for  
30 a subcarrier.

The transmission factor from the transmitter to the intermediate station (EP) number  $k$  is designated  $H_{1k}$ . Signal  $n_{1k}$  describes the noise at the intermediate station (EP) number

k. The number of intermediate stations is shown by K so that the index k runs from 0 to K-1. The noise power is shown as  $\sigma_{1k}^2$ . Index 1 indicates the first hop of the two-hop system.

Correspondingly,  $H_{2k}$  is the transmission factor from the

5 intermediate station (EP) number k to the receiver. Signal  $n_2$  describes the noise at the receiver. The noise power is shown as  $\sigma_2^2$ . Index 2 indicates the second hop of the two-hop system.

The complex factors  $A_k$  describe the weighting in the intermediate station (EP) number k.

10

From this nomenclature and the limitation of the transmitter power to 1, we therefore get the following limits  $0 \leq |A_k|^2 \leq 1/(|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2)$  for the complex factors  $A_k$ .

15 2.2.1 Without knowledge of the channel phases

The following assumes a system with terminals which do not use knowledge of the channel phases of the transmitting channel for forwarding.

20

Because the phases of the  $H_{2k}$  are not known in the intermediate stations, a constructive superposition of the signals at the receiver cannot always be achieved. The received signals superpose each other with a random phase, which means that on  
25 average only the powers of the received signals are added. The signal-to-noise ratio at the receiver is therefore calculated as

$$SNR_{SFN} = \frac{\sum_{k=0}^{K-1} |H_{1k}|^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^{K-1} \sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2} .$$

The objective function ( $SNR_{SFN}$ ) is now to be maximized using

variations of the  $|A_k|^2$ . When doing so, note that the

5 parameters  $|A_k|^2$  are limited. The optimization is therefore to be carried out only in the validity range given by the limitation of  $|A_k|^2$ .

2.2.1.1 With channel parameters and reception value signaling  
10 (MIMO forwarding)

The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver ( $SNR_{SFN}$ ) can be achieved with a signaling taking account of all system parameters.

15

2.2.1.2 With channel parameter signaling (adaptive SFN forwarding)

The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver  
20 ( $SNR_{SFN}$ ) can be carried out by signaling taking account of all system parameters.

25

For maximization, a preliminary investigation of the behavior of the objective function is helpful. This is to determine that the "height lines" of the objective function are "straight lines" of dimension  $K-1$  or, to put it a better way, hyper levels of dimension  $K-1$  in the  $R^K$ . This means no "height lines" have a point characteristic. Because of this, the function cannot have a global maximum or minimum within the validity

range. The function becomes maximum at the edge of the validity range.

Because the validity range is bounded by hyper levels in the  $R^K$ , the maximum of the objective function is to be found in a vertex of the validity range. In certain cases, the height line hyper level, that belongs to the maximum  $SNR_{SFN}$ , can lie on an adjacent hyper level. Because each point, and therefore also each vertex, has the same value on a height line, any vertex can be chosen in this case.

Fig. 5 is an example of an objective function, the  $SNR_{SFN}$ , shown for two intermediate stations (EP) relative to parameters  $|A_k|^2$ . The channel transmission factors were randomly chosen in this example. It is apparent that the height lines are straight lines and that the objective function is at a maximum in a vertex of the validity range.

This analysis shows that the optimum  $SNR_{SFN}$  is always reached in a vertex of the validity range. One vertex describes a parameter set  $|A_k|^2$ , where several intermediate stations (EP) transmit at maximum power ( $|A_k|^2 = 1/(|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2)$ ), and the other intermediate stations perform no forwarding ( $|A_k|^2 = 0$ ). No intermediate station transmits at a power between zero and the maximum value ( $0 < |A_k|^2 < 1/(|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2)$ ). The maximizing of the  $SNR_{SFN}$  is achieved by a suitable choice of EPs that transmit at maximum power.

This choice of active intermediate stations can, for example, be achieved with the aid of a selection criterion. If  $L+1$  intermediate stations are chosen and transmit at maximum power,

a rule can be defined that describes whether an intermediate station is to be switched off in order to increase the  $SNR_{SFN}$ .

The intermediate station number  $L$  should then be precisely switched off if this would mean that the  $SNR_{SFN}$  would be

- 5 increased or remain unchanged. If  $SNR_{SFN L}$  describes the signal-to-noise ratio when all intermediate stations (number 0 to number  $L$ ) are transmitting and  $SNR_{SFN L-1}$  describes the signal-to-noise ratio if only the intermediate stations from number 0 to number  $L-1$  are transmitting, this condition can be  
10 formulated as follows:

$$\begin{aligned}
 SNR_{SFN L} &\leq SNR_{SFN L-1} \\
 \Leftrightarrow \frac{\sum_{k=0}^L |H_{1k}|^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^L \sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2} &\leq \frac{\sum_{k=0}^{L-1} |H_{1k}|^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^{L-1} \sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2} \\
 \Leftrightarrow SNR_{SFN L} &\geq SNR_{1L} = \frac{|H_{1L}|^2}{\sigma_{1L}^2}
 \end{aligned}$$

- This shows that the intermediate station number  $L$  is to be  
15 switched off in cases where its received signal-to-noise ratio ( $SNR_{1L}$ ) is less than the previous signal-to-noise ratio ( $SNR_{SFN L}$ ) at the receiver.

The following algorithm can be formulated on the basis of this  
20 knowledge.

1. Determine the  $SNR_{SFN}$  for the case where all  $K$  EPs forward at maximum power;



2. Compare the determined  $\text{SNR}_{\text{SFN}}$  with the EP received signal-to-noise ratios  $\text{SNR}_{1k}$  and deactivate all EPs with  $\text{SNR}_{1k} \leq \text{SNR}_{\text{SFN}}$ ;
3. End the routine if no further EP is deactivated;
- 5 4. Determine the resulting  $\text{SNR}_{\text{SFN}}$  and go to point 2.

Because the  $\text{SNR}_{\text{SFN}}$  increases with each run-through, the decisions of previous runs remain valid and therefore they do not have to be rechecked or corrected. This shows the  
10 convergent behavior of the algorithm that has calculated the optimum result after at least K runs and then breaks off.

An activation criterion can also be defined in a similar manner to the deactivation criterion described. It is apparent that a  
15 new intermediate station number  $L+1$  is active when its received signal-to-noise ratio ( $\text{SNR}_{1L+1}$ ) is greater than the previous signal-to-noise ratio ( $\text{SNR}_{\text{SFN } L}$ ) at the receiver, that has resulted from the previously active intermediate stations number 0 to L.

20

These analyses can be performed separately for each OFDM subcarrier. To extend the preceding nomenclature to subcarriers, all that is required is to describe the system and channel parameters by subcarriers.

25

The following signaling concept can be derived from these criteria:

1. The receiver periodically signals its reception  $\text{SNR}_{\text{SFN}}(f)$   
30 for each OFDM subcarrier  $f$  to all intermediate stations EP,

2. Each EP compares this  $SNR_{SFN}(f)$  by subcarrier with its reception  $SNR_{1k}(f)$ , whereby

- a. where  $SNR_{1k}(f) \leq SNR_{SFN}(f)$ , the EP number  $k$  does not transmit a signal on the subcarrier  $f$
- 5 b. otherwise the EP number  $k$  transmits at maximum power  $|A_k(f)|^2 \leq 1/(|H_{1k}(f)|^2 + \sigma_{1k}^2(f))$  on this subcarrier  $f$ .

#### 2.2.1.3 Without signaling (blind SFN forwarding)

10 The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver ( $SNR_{SFN}$ ) can be carried out without signaling only by taking into account the locally known system parameters.

#### 15 2.2.2 With knowledge of the phase of the channel

Because the phases of the  $H_{2k}$  in the intermediate stations are not known, a constructive superposition of the signals at the receiver cannot always be achieved. The received signals  
 20 superpose each other with a random phase, so that on average only the powers of the received signals are added. The signal-to-noise ratio at the receiver is therefore calculated as:

$$SNR_{SFN} = \frac{\left( \sum_{k=0}^{K-1} |H_{1k}| |H_{2k}| |A_k| \right)^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^{K-1} \sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2 |A_k|^2} .$$

25

This objective function ( $SNR_{SFN}$ ) is now to be maximized using the variation of  $|A_k|^2$ . When doing so, note that the parameters

$|A_k|^2$  are limited. Optimization is therefore to be carried out only in the validity range given by the limitation of  $|A_k|^2$ .

2.2.2.1 With channel parameter signaling and received value  
5 signaling (MIMO forwarding)

The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver ( $\text{SNR}_{\text{SFN}}$ ) can be carried out by signaling taking account of all system parameters.

10

2.2.2.2 With channel parameter signaling (adaptive SFN forwarding)

The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver  
15 ( $\text{SNR}_{\text{SFN}}$ ) with this signaling can be carried out taking account of the channel parameters.

A new preliminary investigation of the behavior of the objective function is helpful for maximization. This  
20 establishes that the height lines of the objective function are hyperbolas of dimension  $K-1$  or hyperboloids of dimension  $K-1$  in the  $R^K$ . This means that no height line has a point characteristic. Thus the function cannot have a global maximum or minimum within the validity range. The function is at the  
25 maximum on the edge of the validity range. By means of the main axis theory, it can be shown that all hyperbolas have the same main axes.

Fig. 6 shows an example of an objective function, the  $\text{SNR}_{\text{SFN}}$ ,  
30 for two EPs relative to the parameters  $|A_k|^2$ . The channel transmission factors were randomly chosen in this example. It can readily be seen that the height lines are hyperbolas and that the objective function is at maximum at the edge of the

validity range. In the right-hand illustration, the validity range and the common main axis of the hyperbolas are shown in addition to the height lines.

5 The analysis shows that the objective function  $SNR_{SFN}$  is at a maximum on the edge of the validity range. The edges of the validity range are defined by hyper levels. In the first step, the adjacent hyper level on which the optimum is to be found is sought. As can be clearly seen from Fig. 6, it is the hyper  
10 level that is the "first" to be intersected by the main axis, i.e. the intersection point between the main axis and hyper level lies closest to the coordinate origin. As can be shown with the aid of the main axis theory, a parameter set where  
15  $|A_k| = \lambda \sigma_2 |H_{1k}| / (\sigma_{1k}^2 |H_{2k}|)$  lies on the main axis; the scalar  $\lambda$  describes the length of the vector and it can be chosen at random. A  $\lambda_k$  is now chosen so that the weighting factor  $|A_k|$  is maximum. From this we get the following:

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{SNR_{2k}}{SNR_{1k}} \cdot \frac{1}{SNR_{1k} + 1}}$$

20

The hyper level that is the first to be intersected by the main axis is characterized by the shortest vector and thus by the smallest value  $\min_k(\lambda_k)$  of  $\lambda_k$ .

25 In the following, it is considered useful to resort the numbering of the intermediate stations EP. The new sorting is selected according to the size of the value  $\lambda_k$ , so that the EP with the number  $k=0$  has the smallest value  $\lambda_k$ , and the sequence  $\lambda_k \leq \lambda_{k+1}$  results.

30

This sorting means that  $\lambda_0$  is equal to  $\min_k(\lambda_k)$ . Thus the hyper level on which the maximum lies is defined by  $|A_0|^2 = 1/(|H_{10}|^2 + \sigma_{10}^2)$ . The intermediate station with the smallest value  $\lambda_k$  must transmit at maximum transmitter power in order to maximize

5  $SNR_{SFN}$ . If several intermediate stations, for example  $N$ , have the same minimum value  $\lambda_0 = \lambda_k$  for  $k < N$ , all  $N$  intermediate stations then transmit at maximum power.

$$|A_k| = \frac{1}{\sqrt{|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2}} = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{1k}^2(SNR_{1k} + 1)}} \quad \text{for } 0 \leq k < N$$

10

By this forwarding by the  $N$  intermediate stations at maximum transmitter power we get the following signal-to-noise ratio at the receiver:

$$15 \quad SNR_N = \frac{\left( \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{\frac{|H_{1k}|^2 |H_{2k}|^2}{|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2}} \right)^2}{\sigma_2^2 + \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\sigma_{1k}^2 |H_{2k}|^2}{|H_{1k}|^2 + \sigma_{1k}^2}} = \frac{\left( \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{\frac{SNR_{1k} SNR_{2k}}{SNR_{1k} + 1}} \right)^2}{1 + \sum_{k=0}^{N-1} \frac{SNR_{2k}}{SNR_{1k} + 1}} = \frac{\left( \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k SNR_{1k} \right)^2}{1 + \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k^2 SNR_{1k}}$$

Fixing the transmitter power of the  $N$  intermediate stations defines an edge of the validity range, a hyper level of dimension  $K-N$ . In the following step, the maximum of the

20 objective function at this hyper level must be sought. This is to determine that the height lines of the objective function at this hyper level are generally ellipsoidal and exactly one height line degenerates to a point. The main axes theory shows that this point is defined by the following parameter set:

25

$$|A_k| = \frac{\sigma_2 |H_{1k}|}{\sigma_{1k}^2 |H_{2k}|} \cdot A_N = \sqrt{\frac{SNR_{1k}}{\sigma_{1k}^2 SNR_{2k}}} \cdot A_N \quad \text{for } N \leq k < K$$

$$\Lambda_N = \frac{1 + \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k^2 \text{SNR}_{1k}}{\sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k \text{SNR}_{1k}}$$

In the final step, a check has to be made to determine whether the result lies within the validity range. The sorting carried out merely compares the calculated  $|A_k|^2$  for  $k = N$  with the permissible maximum power. Similar to above, it can be shown that this intermediate station with the number  $k = N$  must also transmit at maximum power, in order to achieve the optimum if the maximum power is exceeded by the calculated solution. The maximum power is exceeded in a case where  $\lambda_k < \Lambda_N$ . The procedure is to be continued as previously described on the hyper level of dimension  $K-N-1$  thus redefined.

If the intermediate stations transmit corresponding to the result of this calculation, the maximum  $\text{SNR}_{SFN}$  is achieved at the receiver. In this case, the maximum  $\text{SNR}_{SFN}$  is as follows:

$$\text{SNR}_{SFN} = \text{SNR}_N + \sum_{k=N}^{K-1} \text{SNR}_{1k}$$

20

Based on this deduction, a following algorithm can be formulated:

1. Calculate

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{\text{SNR}_{2k}}{\text{SNR}_{1k}} \cdot \frac{1}{\text{SNR}_{1k} + 1}} \quad \text{for all } 0 \leq k < K$$

25

and re-sort the indices  $k$  according to the sequence  $\lambda_k \leq \lambda_{k+1}$ ;

2. Set  $N = 1$ ;

3. Calculate

$$\Lambda_N = \frac{1 + \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k^2 \text{SNR}_{1k}}{\sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k \text{SNR}_{1k}} ;$$

4. If  $\lambda_k = N \leq \Lambda_N$ , set  $N = N + 1$  and go to step 3;

5. Calculate the factors

$$5 \quad |A_k| = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{1k}^2 (\text{SNR}_{1k} + 1)}} \quad \text{for } 0 \leq k < N ,$$

$$|A_k| = \sqrt{\frac{\text{SNR}_{1k}}{\sigma_{1k}^2 \text{SNR}_{2k}}} \cdot A_N \quad \text{for } N \leq k < K .$$

The iteration is discontinued at the latest when all  
10 intermediate stations EP have been selected.

During the iteration, the value  $\Lambda_N$  has a behavior which  
enables the comparison to be performed individually for each  
intermediate station EP. In this case it is not necessary to  
15 consider whether several intermediate stations EP have equal  
 $\lambda_k$ .

Furthermore, it is to be determined that for a selected  
intermediate station EP  $k \leq N$  also applies after completion of  
20 the iteration  $\lambda_k \leq \Lambda_N$ . From this property and the above  
algorithm, the following signaling concept can be derived:

1. All intermediate stations EP periodically transmit the  
SNR<sub>1k</sub> to the receiver;
- 25 2. With these point-to-point connections, the receiver  
determines the SNR<sub>2k</sub> by corresponding measurements;

3. In the receiver the final  $\Lambda_N$  is calculated by means of the above algorithm;

4. The receiver periodically transmits the calculated  $\Lambda_N$  to all intermediate stations EP;

5. With this broadcast, each intermediate station EP individually determines the  $SNR_{2k}$  by suitable measurements;

6. Each intermediate station EP individually calculates

a. the value  $|A_k| = \sqrt{\frac{SNR_{1k}}{\sigma_{1k}^2 SNR_{2k}}} \cdot \Lambda_N$

b. If the result exceeds its maximum transmitter power, it is limited to this maximum amount

$$|A_k| = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{1k}^2 (SNR_{1k} + 1)}}$$

and in future  $SNR_{1k}$  is transmitted to the receiver, otherwise the  $SNR_{1k}$  does not need to be transmitted to the receiver;

7. The intermediate stations begin forwarding the data from the transmitter;

8. If a new intermediate station EP is added

a. it also individually calculates the value

$$|A_k| = \sqrt{\frac{SNR_{1k}}{\sigma_{1k}^2 SNR_{2k}}} \cdot \Lambda_N$$

b. If the result exceeds its maximum transmitter power, it is limited to this maximum value

$$|A_k| = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{1k}^2 (SNR_{1k} + 1)}}$$

and in future  $SNR_{1k}$  is transmitted to the receiver, otherwise the  $SNR_{1k}$  does not need to be transmitted to the receiver.



### 2.2.2.3 Without signaling (blind SFN forwarding)

The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver  
5 (SNR<sub>SFN</sub>) can be performed without signaling only by taking  
account of the locally known system parameters.

## 2.3 Three-hop SFN

10 Fig. 7 shows a three-hop SFN system with intermediate stations  
EP.

### 2.3.1 With knowledge of the channel phases

15 2.3.1.1 With channel parameter signaling and received value  
signaling (MIMO forwarding)

The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver  
(SNR<sub>SFN</sub>) can be performed by signaling taking account of all  
20 system parameters.

### 2.3.1.2 With channel parameter signaling (adaptive SFN forwarding)

25 The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver  
(SNR<sub>SFN</sub>) can be performed using signaling taking account of all  
system parameters.

### 2.3.1.3 Without signaling (blind SFN forwarding)

30 The optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver  
(SNR<sub>SFN</sub>) can be performed without signaling only by taking  
account of the locally known system parameters.

In the case of the invention, several individual MTs and/or intermediate stations EP cooperate and form a distributed smart antenna. The individual antenna elements in this case are the typically omnidirectional antennas of the MTs/EPs. If several  
5 clusters of MT antennas in the ad-hoc network are combined to form distributed antennas, MIMO channels can be formed using these distributed antenna clusters. MIMO channels, for example corresponding to the BLAST principle, enable a very high spectral efficiency in bit/s/Hz. Thus it is possible to  
10 introduce a hierarchy in ad-hoc networks. To transmit over great distances the powerful MIMO channels are used, whereas shorter distances are bridged using standard multihop transmission. In this way, scalable ad-hoc networks can also be realized in cases where traffic is not locally limited.

15 Depending on the algorithm, MIMO antennas require a coupling of the antenna elements. This results under some circumstances in an additional protocol overhead. However, the distributed concept has the advantage that the MTs can be realized without expensive and large antennas with associated HF front ends, and  
20 therefore a very high spectral efficiency for the distributed MIMO antennas is enabled. MIMO approaches typically require that the radio channels between the individual antenna elements are uncorrelated. Depending on the environment, the antenna elements must therefore have a spacing typically amounting to  
25 several wavelengths of the HF frequency. This requirement is particularly easy to meet for distributed antennas. In principle, all known smart antenna concepts such as SDMA (Space Division Multiple Access) or controllable antennas with interference reduction can be realized using distributed  
30 antennas. The preceding description deals with a further possible cooperation between several MTs in an SFN (single frequency network). SFNs are a special multihop method, whereby several EPs simultaneously transmit data to a very remote RMT (Remote Mobile Terminal). As shown, by means of an exchange of  
35 information between the EPs, and suitable selected weighting factors in the EPs, substantial gain compared with conventional

SFN networks can be achieved. This is in the order of that achieved with conventional maximum ratio combining methods. Generally, the methods of distributed antennas have the advantage that the performance capability increases with the increasing number of MTs, i.e. the methods adapt themselves automatically to the normally increased amount of data in cases where there are many MTs.

Fig. 8 shows the clustering of several intermediate stations (MN - Mobile Nodes) in each case in accordance with the invention, both at the transmission end (transmit cluster) and at the reception end (receive cluster), in order in each case to configure a distributed MIMO antenna for spatial multiplexing. In contrast to conventional MIMO antennas, in this case there is no wired connection between the individual antenna elements. The spatial multiplexing combines the signals of all the receiving antenna elements and from this determines the resulting data flow. This concept enables an exchange of signaling information between the distributed antennas, such as data regarding particular channel estimations for example.

Fig. 9 further shows an example of an application of a distributed antenna concept in an ad-hoc network. In this case, the MIMO channels are used to construct a connection between remote installations of the ad-hoc network. Short distances, such as those requiring few hops, are bridged using known multihop connections. The circuits in Fig. 9 each show examples of a cluster consisting of several intermediate stations MHN (multihop node) that react corresponding to a smart antenna.

## Claims

1. Method for transmitting signals in a radio communication system, whereby
- 5 signals from a transmitting first radio station (AP) are transmitted via several intermediate stations (EP) to a receiving second radio station (MT), with the antenna devices of the intermediate stations (EP) being configured corresponding to a smart antenna.
- 10
2. Method in accordance with claim 1, with signaling being carried out between the intermediate stations (EP) to configure the antenna devices.
- 15 3. Radio communication system, with means to carry out the method in accordance with claim 1.

## Abstract

Method for transmitting signals in a radio communication system

- 5 Method for transmitting signals in a radio communication  
system, with signals from a transmitting first radio station  
(AP) being transmitted to a receiving second radio station (MT)  
via several intermediate stations (EP), with the antenna  
devices of the intermediate stations (EP) being configured  
10 corresponding to a smart antenna.

Fig. 1

200214809

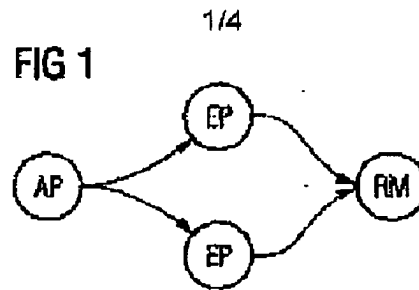


FIG 2

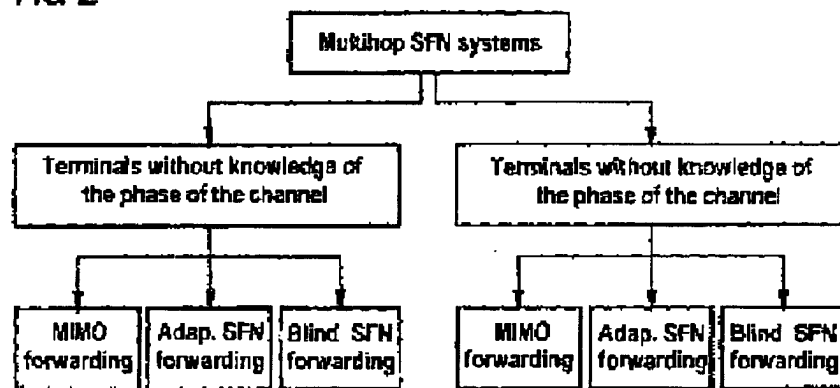
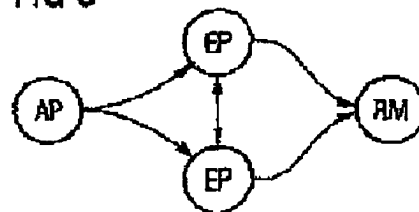


FIG 3



200214809

2/4

FIG 4

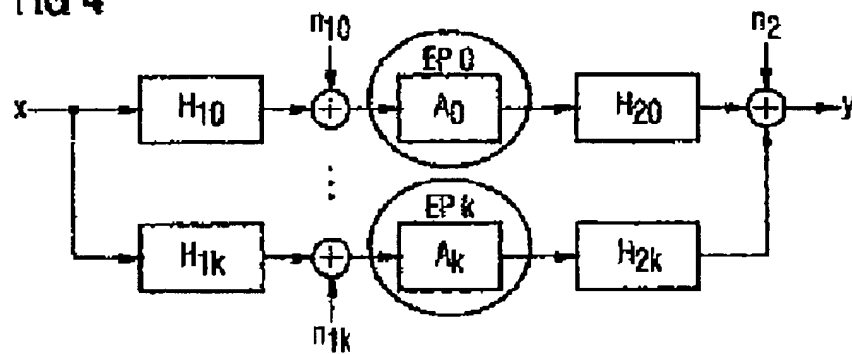
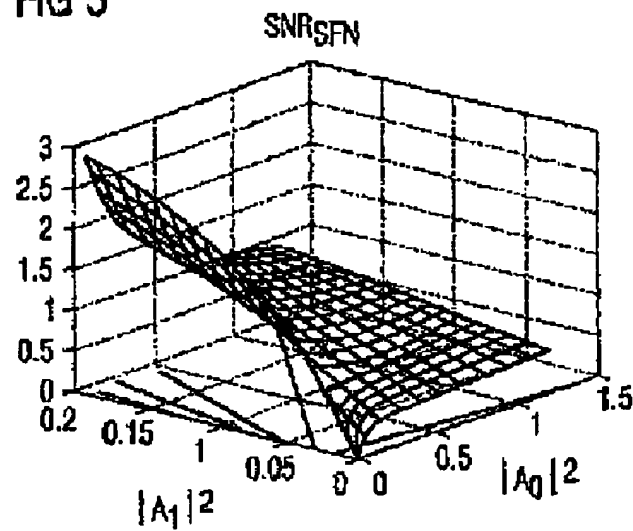


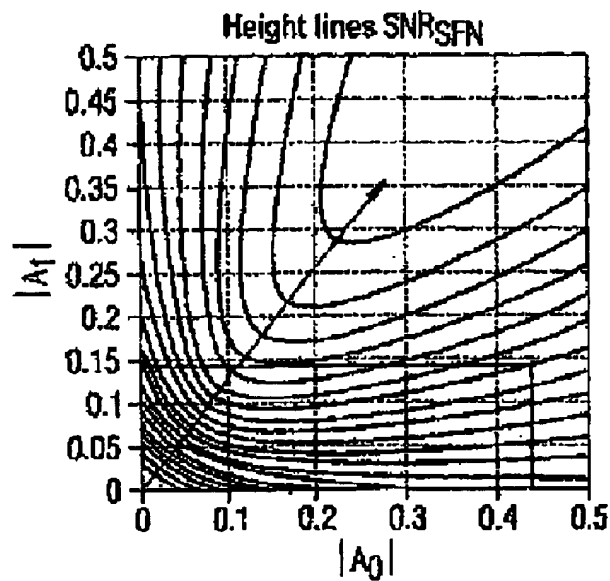
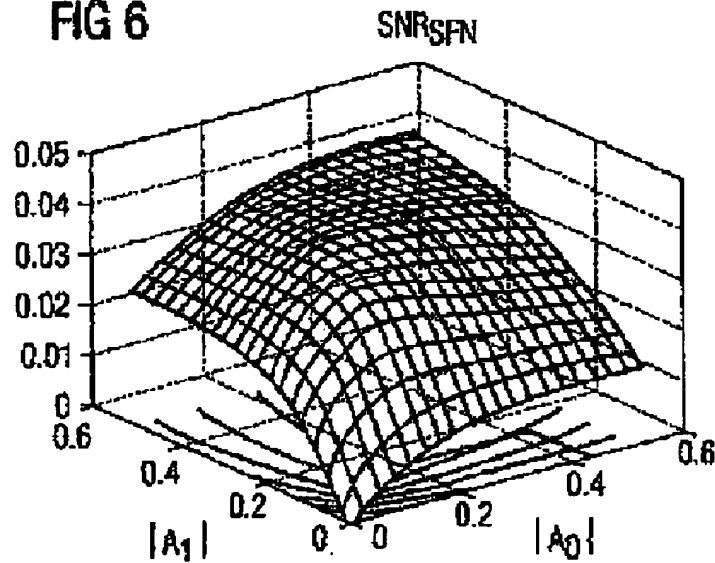
FIG 5



200214809

3/4

FIG 6





200214809

4/4

FIG 7

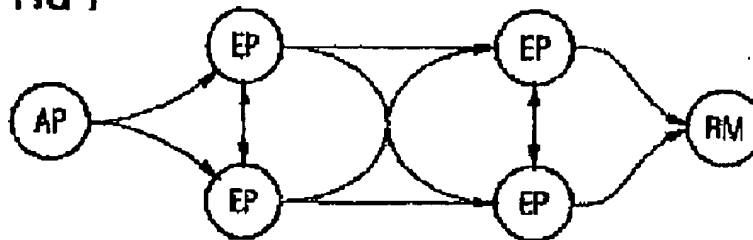


FIG 8

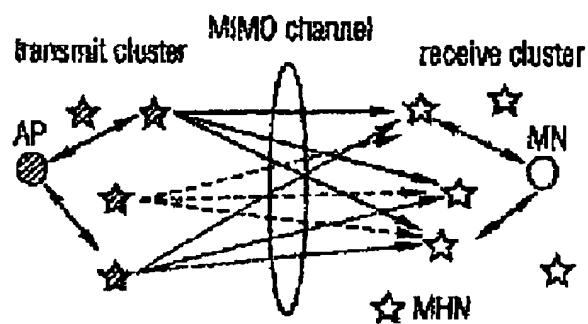


FIG 9

